

УДК 691-419.8

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ПРИНТЕРА ПРИ СОЗДАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ; В.Н. СТАХЕЙКО; С.А. ТЕРЕХОВ; Н.А. АВЕРЧЕНКО
(Полоцкий государственный университет)

На основе изучения и анализа использования новой технологии изготовления стеклопластиковой арматуры дается описание подхода к оценке экономического эффекта от использования 3D-принтера при производстве стеклопластиковой арматуры периодического профиля и печати изделий на её основе по отношению к уже существующим технологиям. Рассматриваются вопросы технологии изготовления стеклопластиковой арматуры периодического профиля с использованием существующих технологий и 3D-принтера. На основе анализа данных предлагается описательная модель оценки эффективности использования 3D-принтера при создании изделий из стеклопластиковой арматуры периодического профиля. Увязываются вопросы экономической целесообразности использования 3D-принтера при армировании цементобетонных покрытий автомобильных дорог.

Ключевые слова: модель оценки экономической эффективности, стеклопластиковая арматура, новая технология, 3D-принтер, экономический эффект.

В настоящее время в мире технологиям на основе использования 3D-принтера придается большое значение. Это в основном связано с экономическими факторами, среди которых важнейшую роль играют снижение трудоемкости, сокращение продолжительности производства, снижение затрат на производство и другие. Соответственно, такой прикладной разработке, как технология использования 3D-принтера при производстве стеклопластиковой арматуры периодического профиля, требуется экономическое обоснование применимости.

Общие положения. Для того чтобы дать ответ на вопрос, насколько выгодно вкладывать средства в разработку и использование новой технологии изготовления и использования стеклопластиковой арматуры периодического профиля на основе применения 3D-печати, следует использовать показатели эффективности вложения денежных средств (инвестиций) в данный проект. Показатели эффективности инвестиций могут быть получены путем сопоставления результата и затрат между собой различными способами. Среди возможных показателей различают показатели эффекта и эффективности. *Эффект инвестиций* представляет собой разность результатов и затрат, то есть это положительная разность между положительным потоком денежных средств субъекта хозяйствования (притоком) и их оттоком. *Эффективность* – это отношение результата к затратам. Эффективность инвестиций может выражаться при учете затрат и результата как в натурально-вещественной, так и стоимостной форме. Эффективность инвестиций может также устанавливаться при выражении результата в стоимостной, а затрат в натуральной форме и, наоборот, когда затраты рассчитываются в рублях, а результат в натуральных измерителях. Главное отличие экономической эффективности от ее других видов заключается в том, что полезные результаты и затраты выражены в стоимостной форме. При стоимостной форме результата и затрат в качестве показателей эффективности могут выступать срок окупаемости инвестиций за счет снижения себестоимости продукции, отношение прироста прибыли к капитальным вложениям, обусловившим этот прирост, и другие показатели.

Стоимостные показатели экономической эффективности инвестиций, несмотря на их недостатки, являются в настоящее время основными показателями обоснования программ и проектов. Эти показатели могут выступать в качестве комплексного показателя, учитывающего в денежной форме затраты прошлого и живого труда.

При проведении оценки экономической эффективности инвестиций необходимо получить ответы на следующие вопросы:

- превысят ли результаты, полученные за установленный отрезок времени, те затраты, которые связаны с реализацией проекта?
- будет ли получена прибыль или доход от реализации проекта, сравнимый с доходами в случае размещения предполагаемых вложений в альтернативный проект?
- соответствует ли полученная прибыль или доход риску, связанному с вложением средств в проект?

Ответы на поставленные вопросы кроются в использовании различных систем показателей.

При оценке эффективности инвестиций важное место занимает учет социальных и экологических результатов. Однако необходимо учитывать то, что результаты мероприятий, связанных с улучшением условий труда, развитием сферы обслуживания, экономией свободного времени населения, охраной окружающей среды, рациональным использованием природных ресурсов и т.п., зачастую не могут быть

выражены в стоимостной форме. В этих условиях эффективное решение следует находить путем совокупной оценки как стоимостных, так и натуральных показателей [1].

Для создания модели оценки экономической эффективности использования 3D-принтера при изготовлении стеклопластиковой арматуры периодического профиля (*новый вариант*) необходимо оценить экономическую эффективность инвестиций в этот проект. В данном случае следует выяснить, будет ли получена прибыль или доход от реализации проекта по новому варианту, сравнимый с доходами в случае размещения предполагаемых вложений в альтернативный проект; либо, будет ли наблюдаться снижение затрат в новом варианте по сравнению с лучшим вариантом существующих способов изготовления стеклопластиковой арматуры периодического профиля. В качестве *сравниваемого варианта* выбираем традиционный способ изготовления стеклопластиковой арматуры периодического профиля на заводе-изготовителе с последующей доставкой на объект строительства. Для осуществления сравнения необходимо привести сравниваемые варианты к сопоставимому виду. Это значит, что они должны быть увязаны по цели, задачам и назначению [2]. Все работы и затраты, связанные с достижением цели, решением поставленных задач, сроков, времени (даты), назначения и некоторых критериев, которые отличаются между собой по качественным и количественным показателям, должны включаться в состав сравниваемых вариантов изготовления и использования стеклопластиковой арматуры периодического профиля. Для того чтобы провести такую работу, необходимо точно определиться с технологией и организацией производства работ по созданию, изготовлению, доставке и использованию арматуры периодического профиля в двух сравниваемых вариантах.

Характеристика сравниваемых технологий производства стеклопластиковой арматуры. *Применение 3D-принтера в строительной отрасли* дает множество преимуществ. Главные из них – высокая скорость строительства автомобильных дорог и полная механизация процесса армирования покрытия [3]. Это позволяет в более короткие сроки, а следовательно, и более эффективно возводить, реконструировать и ремонтировать действующие автомобильные дороги.

Принцип работы 3D-принтера, печатающего волокнистым композитом, достаточно прост. Для печати используются пропитанные светочувствительной смолой хлопчатобумажные нити, которые проходят через принтер и, оказавшись на платформе для печати, мгновенно затвердевают под воздействием ультрафиолета [4; 5].

Благодаря высоким механическим характеристикам волокнистые композиты находят широкое применение в технике в качестве конструкционного материала [6; 7]. Существенным преимуществом создания стеклопластиковой арматуры периодического профиля с использованием 3-D принтера является то, что технологический процесс получения конечного продукта совмещен по времени и включает в свой состав несколько одновременно протекающих процессов с изготовлением конструкции из стеклопластиковой арматуры на основе волокнистых композитов [8]. Основу волокнистых полимерных композиционных материалов составляют армирующие волокнистые наполнители, объединенные в монолитный композиционный материал полимерной матрицей. Элементы конструкций из композиционных материалов состоят обычно из однонаправленных армирующих слоев стеклонитей, уложенных в определенной последовательности, поэтому в основе методов расчета и проектирования таких конструкций лежат механические характеристики однонаправленно армированного слоя, которые требуется определить экспериментально или расчетным путем. Механическое поведение таких композитов в значительной степени зависит от времени, что обусловлено ярко выраженными вязкоупругими свойствами полимерных связующих и некоторых типов волокон [9]. Многие компании заняты поиском эффективных способов печати волокнистым композитом, позволяющих создавать более надежные конструкции и изделия.

Анализ вышеизложенного позволил предложить 3D-принтер, принцип работы которого основан на технологии 3D-печати волокнистым композитом. Данный принтер предназначен для создания стеклопластиковой арматуры периодического профиля. Заявляемая модель 3D-принтера отличается тем, что позволяет создавать не хрупкое изделие, а сетку из прочной волокнистой стеклопластиковой арматуры. Использование заранее создаваемой 3D-модели обеспечивает печать стеклопластиковых изделий любой номенклатуры (плоские каркасы, пространственные каркасы и сетки). 3D-печать изделия происходит по схеме, представленной в [10].

С использованием программного обеспечения и полученной при помощи 3D-принтера стеклопластиковой арматуры периодического профиля можно печатать трехмерную арматурную сетку, которая в дальнейшем укладывается в цементобетонное покрытие автомобильной дороги. Подобная технология изготовления изделий на основе композитных материалов отражена в работе [4]. Главное в этой технологии – увязать объемы работ по печатанию самого изделия со временем отвердевания элемента арматурного изделия. Таким образом, печатание заключается в изменении пространственного положения элемента такого изделия, когда он находится в пластичном состоянии, то есть имеет возможность деформироваться без последствий на прочностные и эксплуатационные характеристики готового изделия.

Как показывает отечественный и мировой опыт, возрастающим требованиям автомобильного движения в наибольшей степени отвечают цементобетонные покрытия. Стабильные транспортно-эксплуатационные показатели, высокая долговечность дают им преимущества перед покрытиями, построенными с применением органических вяжущих. В зависимости от интенсивности движения, свойств земляного полотна, плита из цементобетона может быть неармированной или содержать арматурную сетку, препятствующую раскрытию трещин в случае их возникновения [11; 12].

Именно для случая укладки арматурной сетки проектируемый принтер предполагается использовать в комплекте с другими устройствами и принтерами при строительстве дорог. Применение 3D-принтера при строительстве дорог в виде устройства приготовления и укладки бетона нашло отражение в работе [3].

Разработка модели эффективности использования 3D-принтера. Вначале определяемся с исходными данными для проведения сравнения вариантов.

1. *Цель.* Дать оценку двум вариантам изготовления и использования стеклопластиковой арматуры периодического профиля.

2. *Назначение, задачи.* Вариант А (новый) – изготовление изделий из стеклопластиковой арматуры периодического профиля при помощи 3D-принтера, размещаемого непосредственно на объекте строительства дороги, где и будет использоваться (укладываться) изготавливаемое изделие (арматурная сетка). Вариант Б (базовый) – изготовление стеклопластиковой арматуры периодического профиля на заводе-изготовителе с последующей транспортировкой на объект строительства дороги и изготовление (вязка) арматурной сетки на месте производства работ. Таким образом, по назначению и задачам оба варианта соответствуют друг другу.

3. *Критерии.* Для изготовления стеклопластиковой арматуры периодического профиля необходимы исходное сырье, материалы, комплектующие, использование которых по вариантам сравнения должно быть приведено к сопоставимому виду. Анализируя эти составляющие по двум вариантам, приходим следующему выводу:

а) по *базовому варианту* – все ресурсные затраты входят в состав себестоимости изготовления арматуры и формируют отпускную цену товарной продукции (арматуры) на заводе-изготовителе. В качестве такого завода-изготовителя можно выбрать ОАО «Полоцк-Стекловолокно», которое выпускает арматурную продукцию, близкую по своим техническим характеристикам к продукции по новому варианту. Разница в изготавливаемой продукции по вариантам заключается в технологии изготовления, которая сказывается на прочностных свойствах арматуры и качестве сцепления арматуры с бетоном. В частности, по оценкам авторов и экспертов УО «Полоцкий государственный университет», арматура и арматурная сетка по новому варианту может быть лучше по прочностным характеристикам на изгиб, растяжение и срез, по сцеплению – прогнозируются характеристики с более высокими показателями. Для доказательств данных утверждений авторами планируется проведение соответствующих исследований;

б) по *новому варианту* – количество используемых основных компонентов стеклопластиковой арматуры и арматурной сетки (стеклоровинг и смола) в новом и базовом вариантах будут примерно одинаковы. Остальные ресурсы в виде затрат на электроэнергию, комплектующие, на использование трудовых ресурсов, машин и оборудования (в виде амортизационных отчислений) входят в состав себестоимости изготовления арматурной сетки и формируют отпускную цену товарной продукции (арматурной сетки) по технологии с использованием 3D-принтера.

4. *Преимущество новой технологии* – возможность печатания не только линейных протяженных стержней арматуры, но и создание из элемента арматурного изделия различных плоскостных и пространственных конструкций в виде арматурных сеток и каркасов, которые востребованы в дорожном строительстве. В качестве армирующего материала, укладываемого в основание дороги при бетонировании, принимаем арматурные сетки, изготавливаемые из стеклопластиковой арматуры периодического профиля. В *новом варианте* арматурные сетки изготавливаются на месте устройства дороги и укладываются с помощью 3D-принтера. В *базовом варианте* – отдельные стержни в пачках или арматура в бухтах изготавливаются на заводе-изготовителе, транспортируются на объект строительства дороги и на месте производства работ изготавливаются и укладываются арматурные сетки.

На основе анализа технологии производства работ по двум вариантам изготовления и использования стеклопластиковой арматуры периодического профиля и арматурных сеток производим выборку работ и затрат, которые будут входить в сравнение вариантов.

Вариант затрат при традиционном методе производства

1. Изготовление стеклопластиковой арматуры периодического профиля на заводе-изготовителе (рис. 1) с учетом затрат на такие операции, как: устройство шпулярника (1); устройство стойки подогрева стеклоровинга (2); устройство узла пропитки и отжима стеклоровинга (3); устройство узла спиральной намотки (4); устройство узла нанесения песочной посыпки (при необходимости) (5); установка, подключение и работа главного шкафа управления процессом (6); работа печи полимеризации (7); функциониро-

вание ванны охлаждения (8); устройство и функционирование тянущего механизма (9); установка и работа отрезного устройства (10); функционирование намоточного барабана (11).

2. Пакетирование и доставка на объект строительства стеклопластиковой арматуры периодического профиля.

3. Резка стержней по размеру и изготовление арматурных сеток на месте производства дорожных работ.

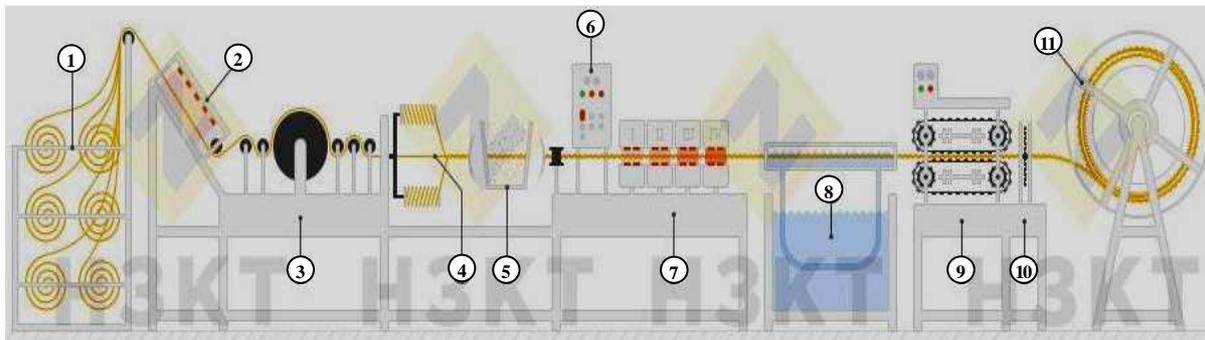


Рисунок 1 – Принципиальная схема линии для производства арматуры по пултрузионной технологии

Источник: [13].

Вариант затрат при новом методе производства с использованием 3D-принтера.

1. Установка и наладка 3D-принтера на месте устройства дороги.

2. Изготовление и укладка арматурных сеток при помощи 3D-принтера на месте производства дорожных работ.

В базовом варианте вместо затрат по пунктам 2 и 3, предусматривающим затраты по устройству арматурных сеток на месте устройства дорожного полотна, можно заменить на затраты по устройству арматурных сеток на заводе-изготовителе. Технология изготовления арматурных сеток на заводе-изготовителе представлена на рисунках 2 и 3.

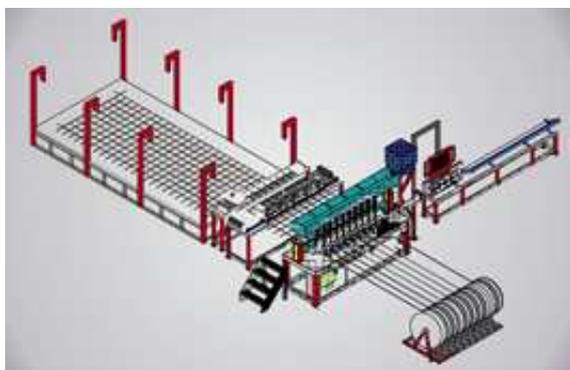


Рисунок 2 – Принципиальная схема технологической линии по производству арматурной сетки из стеклопластиковой арматуры



Рисунок 3 – Композитная сетка, полученная на технологической линии

Заключение. Разница между затратами по вариантам двух проектов, приведенных к годовой размерности, позволит выйти на значение годового экономического эффекта от применения нового варианта. Поскольку новый вариант технологии на основе использования 3D-принтера значительно сократит трудоемкость изготовления и укладки арматурных изделий, то появляется возможность оценить экономический эффект от сокращения продолжительности строительных работ и объекта строительства автомобильной дороги в целом. Кроме расчета эффекта для доказательства целесообразности использования новой технологии следует проводить расчеты эффективности с использованием показателей приведенных затрат, дисконтированного срока окупаемости, чистой текущей стоимости и других.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский, Н.А. Экономика строительства / Н.А. Дубровский – Новополоцк: ПГУ, 2009. – 374 с.

2. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений: СН 509-78.
3. Грахов, В.П. Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства / В.П. Грахов, С.А. Мохначев, О.В. Бороздов // Фундаментальные исследования [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36044>. – Дата доступа: 23.03.2016.
4. Моралес, С. Студент сконструировал принтер, печатающий волокнистым композитом / С. Моралес // Printexpo [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://3d-expo.ru/ru/student-skonstruiroval-printer-pechatayushchiy-voloknistym-kompozitom>. – Дата доступа: 23.03.2016.
5. Кордикова, Е.И. Пропитка волокнистых материалов расплавами термопластичных полимеров: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.06 / Е.И. Кордикова. – Минск. 2000. – 21 с.
6. Любвин, Дж. Справочник по композиционным материалам / Дж. Любвин. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
7. Васильев, В.В. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, Ю.М. Тарнопольский. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
8. Зарубин, В.С. Влияние взаимного расположения волокон на теплопроводность однонаправленного волокнистого композита / В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин, И.Ю. Савельева // КиберЛенинка [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vzaimnogo-raspolozheniya-vozkon-na-teploprovodnost-odnonapravlenno-go-vozkonistogo-kompozita>. – Дата доступа: 23.03.2016.
9. Вустер, У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов / У. Вустер. – М.: Мир, 1977. – 384 с.
10. Шабанов, Д.Н. Моделирование структуры непрерывных волокнистых наполнителей в полимерных связующих / Д.Н. Шабанов, С.А. Терехов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2015. – № 16. – С. 70–76.
11. Ушаков, В.В. Цементобетонные покрытия автомобильных дорог / В.В. Ушаков // Строительная техника и технология. – 2001. – С. 18–20.
12. Ерошова, О.А., Менжинский, Е.А. // Выставка научно-технических работ студентов и молодых ученых [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://cent.metolit.by/ru/node/1000>. – Дата доступа: 02.02.2016.
13. Линия для производства композитной сетки, пластиковой и стеклопластиковой арматуры / НЗКТ – Нижегородский завод композитных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.google.by/?gfe_rd=cr&ei=16iYV5jYNoOu8wfBuIGwCA&gws_rd=ssl#q=nzkt.ru. – Дата доступа: 04.03.2016.

Поступила 07.04.2016

**MODEL OF ECONOMIC EVALUATION
USE A 3D-PRINTER IN THE CREATION OF PRODUCTS
OF FIBERGLASS REINFORCEMENT PERIODIC PROFILE**

D. SHABANOV, V. STAHEIKO, S. TEREKHOV, N. AVERCHENKO

On the basis of the study and analysis of the use of new manufacturing technologies fiberglass reinforcement the approach to the assessment of the economic effects of the use of 3D-printers in the production of glass-fiber reinforcement with periodic profile and printing products based on it in relation to existing technologies is described. The problems of production of fiberglass reinforcement with periodic profile technology with existing technology and of 3D-printers are examined. On the basis of the data analysis the descriptive model evaluating the effectiveness of the use of 3D-printers to create products made of fiberglass fittings periodic profile is proposed. The issues of economic feasibility of the use of 3D-printers for reinforcing concrete slabs roads are solved.

Keywords: *model of assessment of economic efficiency, fiberglass reinforcement, new technology, 3D-printer, economic effect.*